



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Lasse Juhani Kanko

BIOPOLTTOAINEIDEN KOSTEUDEN MITTAUS ONLINE-SOVELLUKSENA

Tekniikka ja liikenne
2010

ALKUSANAT

Opinnäytetyö suoritettiin syksyllä 2010. Työ aloitettiin heinäkuussa ja suoritettiin osittain Nordautomation Oy:n tiloissa.

Opinnäytetyön valvojana toimi Nordautomation Oy:n sähköinsinööri Raimo Tarkka ja ohjaajana Vaasan ammattikorkeakoulusta diplomi-insinööri, lehtori Matti Ylivainio.

Haluan kiittää Nordautomation Oy:n toimitusjohtajaa Pauli Ojalaa mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta, Nordautomation Oy:n henkilökuntaa hyvästä yhteistyöstä, työn valvojaa ja työn ohjaajaa hyvästä ohjauksesta.

Vaasassa 21.1.2011

Lasse Kanko

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Lasse Kanko
Opinnäytetyön nimi	Biopolttoaineiden kosteuden mittaus online-sovelluksena
Vuosi	2010
Kieli	suomi
Sivumäärä	36 + 4 liitettä
Ohjaaja	Matti Ylivainio

Opinnäytetyön tavoitteena oli suositella Nordautomation Oy:lle kosteuden mittausmenetelmää, jolla kosteuden mittaus saadaan toteutettua biopolttolaitoksen käydessä. Kosteusmittauksesta saatavan tiedon perusteella palotapahtuma saatetaan mahdollisimman optimaaliseksi, jolloin hyötysuhde on parempi ja päästöt ovat pienemmät.

Suosittelavaa kosteuden mittausmenetelmää valittaessa tuli ottaa huomioon kosteusmittaukselle asetetut vaatimukset. Opinnäytetyössä tutkittiin aluksi eri biopolttoaineita. Tämän jälkeen tutkittiin erilaisia kosteuden mittausmenetelmiä. Tutkimusaineistona työssä käytettiin käytännössä tehtyjen testien raportteja sekä teoriaan perustuvaa materiaalia.

Kosteuden mittausmenetelmiä tutkittaessa huomattiin, että kosteuden mittaaminen on toteutettavissa monella menetelmällä mutta käytännön sovellutuksia on vain muutamia tarjolla. Suositeltavaa kosteuden mittausmenetelmää valittaessa päädyttiin kahteen eri mittausmenetelmään. Käyttönoton ja kalibroinnin helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi suositeltiin käsikäyttöistä kosteusmittaria.

Avainsanat

biopolttoaine, online-sovellus, kosteusmittaus,
mittausmenetelmät

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Sähkötekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Lasse Kanko
Title	Online moisture measurement from biofuels
Year	2010
Language	Finnish
Pages	36 + 4 Appendices
Name of Supervisor	Matti Ylivainio

The purpose of this thesis was to make a recommendation of online moisture measurement method for Nordautomation Oy. Information collected from moisture measurement is used for optimization of burning process. The optimized burning process means better efficiency and fewer emissions.

When choosing the recommended measuring method the requirements for moisture measurement had to be taken into account. In this thesis various biofuels and measuring methods were researched first. Sources used for this thesis were test results and theoretical material.

While researching the methods for moisture measurement it was noticed that there are many different ways to measure moisture content but only a few practical solutions are available. As the result of this thesis a recommendation of two meters with different measuring methods was given. To ease the commissioning and maintenance the use of hand-held moisture meters was recommended.

Keywords	biofuel, online measurement, moisture measurement, measuring methods
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITTEET JA LYHENTEET

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Nordautomation Oy	8
1.2	Ekohell-biopolttolaitos.....	8
1.3	Toimeksianto.....	10
2	BIOMASSAT	12
2.1	Turve	12
2.2	Peltobiomassat	13
2.3	Puuperäiset polttoaineet	13
2.4	Kierrätyspolttoaineet.....	13
2.5	Biopolttolaitosten ominaisuudet ja hinnoitteluperusteet.....	14
3	KOSTEUDEN MITTAUSMENETELMIÄ	15
3.1	Vastusmittaukseen perustuva kosteusmittaus	15
3.2	Kapasitanssimittaukseen perustuva kosteusmittaus.....	16
3.3	Impedanssimittaukseen perustuva kosteusmittaus.....	18
3.4	Infrapunamittaukseen perustuva kosteusmittaus	19
3.5	Rividetektoriin perustuva mittaus	20
3.6	Mikroaaltomittaukseen perustuva mittaus	21
3.7	Röntgen- ja gammasäteilymittaukseen perustuva mittaus.....	23
3.8	Neutroniaktivaattori	25
3.9	Uunikuivausmenetelmä.....	27
4	KOSTEUSMITTAUKSELLE ASETETTAVIA VAATIMUKSIA	29
5	MITTAUKSEN SJOITUSPAIKKA	30
6	SUOSITELTAVA MITTAUSMENETELMÄ	31
6.1	Mikroaaltomittaukseen perustuva kosteusmittaus	31
6.2	Infrapunamittaukseen perustuva mittaus	33
6.3	Käyttöönottovaiheessa tehtävä kalibrointi	34
7	YHTEENVETO	36

KÄSITTEET JA LYHENTEET

Absorptiviteetti	heijastuma mitattavasta materiaalista
CHP	Combined Heat and Power. Sähkön- ja lämmön yhdistetty tuotanto
DGNAA	Delayed-Gamma Neutron Activation Analysis
Dispersio	materiaalin sähköisten ominaisuuksien muutos epälineaarisesti taajuuden funktiona
Eksikaattori	paksusta lasista valmistettu kannellinen astia
FIR	Far Infrared
m-%	massaprosentti
MIR	Middle Infrared
NAA	Neutron Activation Analysis
NIR	Near Infrared
Online-mittaus	mittaus, joka suoritetaan laitteiston käydessä
PGNAA	Prompt-Gamma Neutron Activation Analysis
PMT	Photomultiplier tube

LIITELUETTELO

LIITE 1. Lähdeluettelo

LIITE 2. Mikroaaltomittarin tekniset tiedot

LIITE 3. Infrapunamittarin tekniset tiedot

1 JOHDANTO

1.1 Nordautomation Oy

Nordautomation Oy on Suomessa perustettu tukinkäsittelytekniikkaan sekä bioenergiapolttolaitoksiin erikoistunut yritys. Nordautomation Oy:ssä myynti, suunnittelu, projektinjohto ja hallinto sijaitsevat pääkonttorissa Kristiinankaupungissa. Tuotantoyksikkö sijaitsee Alajärvellä. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2009 noin 15 miljoonaa euroa ja henkilövahvuus noin 90.

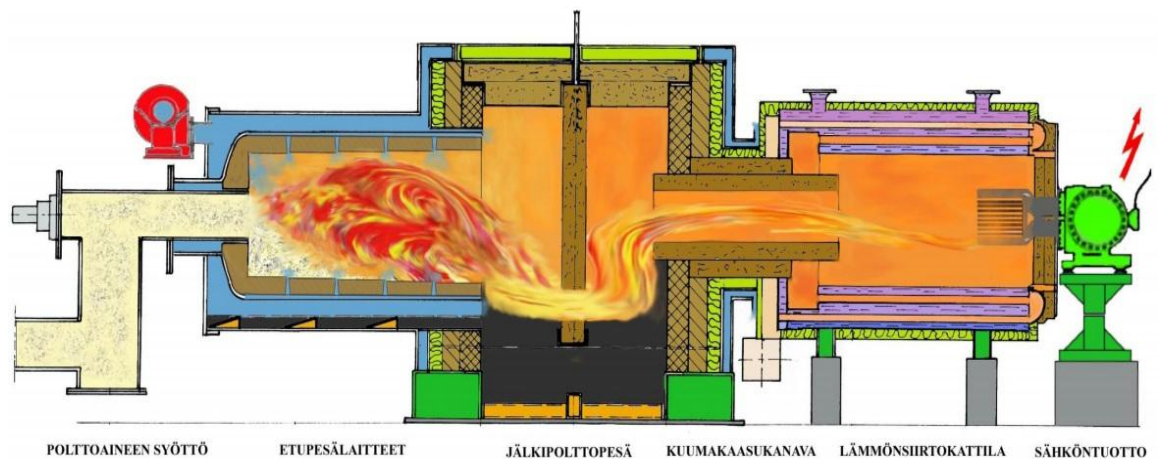
Nordautomation Oy toimittaa mekaaniselle puunjalostusteollisuudelle tukkilajittelun, sahaansyötön ja alasahan linjastoja sekä näistä koostuvia kokonaisprojekteja. Uutena osana yrityksen tuotevalikoimaa ovat bioenergiapolttolaitteistot.

Nordautomation Oy:n tärkeimpiä arvoja ovat asiakaslähtöisyys, laadukkaat ratkaisut ja tekninen palvelu.

1.2 Ekohell-biopolttolaitos

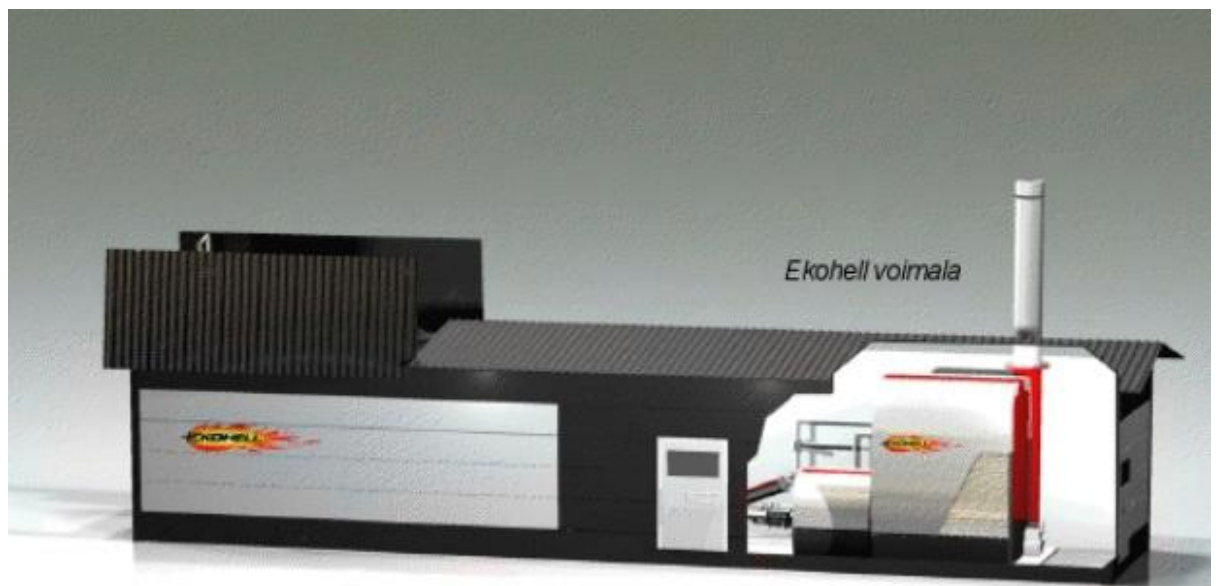
Nordautomation Oy on kehittänyt uusien energia- ja ympäristöpoliittisten tavoitteiden mukaisen polttolaitteiston. Laitteisto soveltuu erityyppisille polttoaineille. Tuoteperhe koostuu kolmesta eri asiakasryhmille ja eri tehoalueille suunnitelluista ratkaisuista.

Polttolaitteisto on varustettu arinattomalla itsensä puhdistavalla palotilalla sekä jälkipalotilalla, joilla polttoaine ja sen epäpuhtaudet saadaan palamaan erityisen tehokkaasti. Myös polttoaineen syöttöön on kehitetty mahdollisimman häiriötön syöttölaitteisto. Laitteiston toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Ekohell-polttolaitteiston periaatekuva. /5/

Biovoimalaitos voidaan toimittaa joko olemassa olevaan tai rakennettavaan rakennukseen. Ekohell-voimalaitos on myös mahdollista saada teräskonttiin valmiiksi rakennettuna (Kuva 2). Polttoaineen vastaanottosiilot on saatavilla myös teräksisinä konttimoduulirakenteina.



Kuva 2. Ekohell -voimalaitos rakennettuna teräskonttiin. /5/

Biovoimalaitosten suunnittelussa on oletettu, että laitoksen hankkijana ja käyttäjänä ovat ensisijaisesti puunjalostuslaitokset, palavaa materiaalia käsittelevä teollisuus, jätteenkäsittelylaitokset, kasvihuoneviljelijät, lämpöenergiaa tuottavat

yrittäjät, hevostallit, suurkanalat ja kunnat. Ekohell –polttolaitokset on jaettu käyttökohteen ja tehoalueen mukaan seuraavasti:

Ekohell-lämpö

Ekohell-lämpö on tarkoitettu esimerkiksi kaukolämmön tai muun veden tai höyryn avulla siirrettävän energian tuotantoon.

Laitteisto on saatavilla 1-7 (10) MW tehoalueella.

Ekohell-CHP

Ekohell-CHP on tarkoitettu esimerkiksi kaukolämmön tai muun veden tai höyryn avulla siirrettävän energian yhteistuotantoon. Energiasta osa tuotetaan sähköenergiaksi.

Laitteisto on saatavilla on 2 – 10 MW tehoalueella, josta sähköntuotannon osuus on 0,5 – 2,0 MW.

Ekohell-CHP-Cool

Ekohell-CHP+Cool on tarkoitettu kaukolämmön ja sähkön yhteistuotantoon. Energiasta tuotetaan lämpöä sekä kylmää esimerkiksi ilmastointiin ja huonejäähdytykseen. Energiasta osa tuotetaan sähköenergiaksi.

Laitteisto on saatavilla 2-10MW tehoalueella, josta sähköntuotannon osuus on 0,5 – 2,0 MW.

1.3 Toimeksianto

Biopolttoaineen kosteuden määrittäminen tapahtuu yleensä analysoimalla laboratoriossa polttoainenäyte. Näyte polttoaineesta otetaan joko käsin tai puoliautomaattisesti. Näytteen analysointi laboratoriossa kestää yleensä tunteja. Tämän menetelmän avulla palamisprosessin tarkka optimointi on mahdotonta. Polttoaineen joukossa esiintyy usein epäpuhtauksia, kuten lunta ja jäätä, jotka vaikuttavat palotapahtumaan. Kosteuspitoisuuden tarkan määrittämisen avulla palamisprosessi

voitaisiin optimoida siten, että saatava energiahyöty olisi suurempi ja päästöt pienemmät.

Kosteuden reaaliaikaiseen mittaukseen on tarjolla moneen eri teknologiaan perustuvia mittausmenetelmiä. Nordautomation Oy antoi tehtäväksi selvittää, mikä teknologia soveltuisi parhaiten Ekohell-polttolaitoksen biopolttoaineen kosteuden mittaukseen on-line toimintona siten, että mittaustulos soveltuu palamisprosessin ohjaukseen.

Yleisimmin käytettävät polttoaineet ovat hake ja turve, joten mittauksen tulisi olla luotettava näillä polttoaineilla voimalaitosta käytettäessä.

2 BIOMASSAT

Biomassoiksi kutsutaan eloperäisiä, fotosynteesin kautta syntyneitä kasvimassoja. Näistä tuotettuja polttoaineita kutsutaan biopolttoaineiksi. Bioenergia on biopolttoaineista saatua energiaa. Biopolttoaineita saadaan Suomessa metsissä, soilla ja pelloilla kasvavista biomassoista sekä yhdyskuntien, maatalouden ja teollisuuden energiantuotantoon soveltuvista orgaanisista jätteistä. Kuvassa 3 on esitetty yleisimpiä biopolttoaineita. Bioenergia on osa uusiutuvista energialähteistä. Suomessa bioenergian poltolla tuotetaan energiamäärä, mikä vastaa neljännestä koko valtakunnan energiankulutuksesta ja bioenergia edustaa lähes 90 % uusiutuvista energialähteistä /2/.

Polttoaineiden tärkeimmät ominaisuudet ovat lämpöarvo, kemiallinen koostumus, kosteus, tuhkan ominaisuudet, tiheys, jauhautuvuus, viskositeetti sekä muut käsittelytekniset ominaisuudet. Tehollisen lämpöarvon riippuvuus kosteudesta on suuri /1/.



Kuva 3. Yleisimpiä biopolttoaineita. /14/

2.1 Turve

Turve syntyy hyvin kosteissa oloissa kuolleiden kasvien maatuessa. Jatkuvasti kasvava kerrostuma muodostuu, kun kasvien jäänteet eivät hajoa kunnolla hapen puutteen ja runsaan veden takia. Turve sisältää vaihtelevan määrän maatumattomia tai huonosti maatuneita karkeita kasvinosia /1/.

Reaktiivisuutensa vuoksi turve syttyy helposti palamaan ja se on kuivana ja hienojakoisena herkkää räjähtämään. Siksi turpeen käyttöön liittyy tulipalo- ja räjähdysvaara /1/.

Polttoturpeena käytetään yleisimmin jysinturvetta ja palaturvetta. Muita turpeen käyttömuotoja ovat kasvuturve, maanparannusaine ja kuiviketurve /3/.

2.2 Peltobiomassat

Peltobiomassat ovat pelloilla ja soilla kasvatettavia energiakasveja tai energiametsää sekä viljakasvien osia. Näitä voidaan käyttää, joko sellaisenaan tai jalostaa käyttöön soveltuviksi /3/.

Kiinteässä muodossa poltettavaksi soveltuvat esimerkiksi olki, jyvä, energiaheinä ja bioenergiatuotannon sivutuotteina saatavat sokeriruo'on puristejäte ja rapsikakku /17/.

2.3 Puuperäiset polttoaineet

Puubiomassaa voidaan korjata energiantuotantoon suoraan metsästä, mutta suurin osa siitä saadaan puunjalostuksen prosesseista. Metsäteollisuus käyttää itse pääosan prosesseissa syntyneestä puupolttoaineesta omassa energiantuotannossaan /3/.

Merkittävä osa puuenergiasta saadaan kierrätyspuusta eli rakennusten purkupuusta ja muusta käytöstä poistetusta puusta. Metsähake on joko hakkuutähdehaketta, kokopuu- ja rankahaketta tai kantohaketta. Kutterinpuru ja -lastu sekä hiontapöly ja kuori ovat metsäteollisuuden sivutuotteita. Pelletti on polttoainepuriste, jonka raaka-aineena valmistuksessa käytetään myös puuta /3/.

2.4 Kierrätyspolttoaineet

Yhdyskunnat ja teollisuus tuottavat paljon erilaista jätettä, josta osa soveltuu hyvin energiantuotantoon. Kierrätyspolttoaineet ovat syntypistelajiteltuja, kuivia ja polttokelpoisia materiaaleja sellaisenaan tai niistä valmistettuja polttoaineita.

Ensisijaisena käyttönä on jättemateriaalin uusiokäyttö, toissijaisena lajitellun ja turvallisen jätteen energiakäyttö. Osa jätteistä on biojätettä /3/.

Jätteiden energiankäytön etuna on saatavan energian lisäksi kaatopaikkakuormituksen väheneminen. Energiankäyttöön sopivista kuivajätteistä voidaan valmistaa kierrätyspolttoainetta esim. murskaamalla sitä mekaanisesti rouheeksi. Usein kierrätyspolttoaineet poltetaan voimalaitosten kattiloissa yhdessä muiden polttoaineiden, mm. hiilen, turpeen tai puun kanssa. Kierrätyspolttoaineet soveltuvat sekä erilliseen lämmöntuotantoon että yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon /3/.

2.5 Biopolttoaineiden ominaisuudet ja hinnoitteluperusteet

Biopolttoaineiden tärkeimpiä ominaisuuksia ovat alkuainekoostumus, lämpöarvo ja tuhkan sulamiskäyttäytyminen. Näiden lisäksi tarvitaan tietoa tiheydestä, palakoosta ja muista käsittelyteknisistä ominaisuuksista. Ympäristösyistä tai polttoteknisistä syistä selvitetään myös raskasmetallipitoisuuksia sekä erilaisten metallien tai epämetallien pitoisuuksia joko polttoaineesta tai tuhkasta. Hienojakoisista polttoaineista tarvitaan tietoa myös turvallisuuteen liittyvistä ominaisuuksista, kuten itsesyttymislämpötilasta ja pölyräjähdysominaisuuksista. Nämä ominaisuudet selvitetään teknillisen analyysin avulla /22/.

Polttoaineiden teknillinen analyysi sisältää kosteuden, haihtuvien aineiden, kiinteän hiilen (erotus) ja tuhkan määrityksen tarkoin määritellyillä menetelmillä. Teknillistä analyysiä käytetään polttoaineen laatua arvioitaessa ja se antaa lämpöarvomäärityksen ohella perustan polttoaineiden kaupalle /16/.

3 KOSTEUDEN MITTAUSMENETELMIÄ

Biomassojen kosteuspitoisuuden määrittäminen on vaikeaa verrattuna moniin muihin materiaaleihin siksi, että kosteus on suurimmaksi osaksi huokosissa, kuitujen ja solukkorakenteiden sekä solujen sisällä. Kosteus on useimmiten jakautunut epätasaisesti pinnan ja materiaalin sisäosan välillä /12/.

Kosteuden on-line-mittaukseen voidaan käyttää hyvin monenlaisia menetelmiä, esimerkiksi laajaa aluetta käyttävää sähkömagneettista spektriä, sähkökentän ominaisuuksien muutoksen mittaukseen perustuvia menetelmiä, ydinmagneettista resonanssia ja neutronimenetelmää /12/.

3.1 Vastusmittaukseen perustuva kosteusmittaus

Vastusmittaukseen perustuva menetelmä soveltuu ainoastaan puupohjaisille polttoaineille. Menetelmässä mitataan polttoaineen sähköinen vastus. Kosteuden määrittäminen mittaamalla polttoaineen sähkövastus perustuu siihen, että polttoaineen kosteuden kasvaessa sähkövastus alenee voimakkaasti. Vastusten arvot vaihtelevat puulajin mukaan, mutta puulajista riippumatta ero kuivan ja kostean polttoaineen välillä on erittäin suuri. Mittaus voidaan tehdä DC-jännitteellä, mutta usein käytetään pulssimuotoista mittaukseen, jolloin elektrodipolarisaation aiheuttama mittauksen ryömiminen vähenee merkittävästi /12/.

Vastusmittareissa elektrodit hakataan tai työnnetään polttoaineen sisään, jolloin materiaali joudutaan osittain rikkomaan. Usein käytetään elektrodeja, joissa pelkästään päät johtavat ja muu osa on eristetty. Näin voidaan eliminoida pintajohtavuuden vaikutusta mittaukseen. Polttoaineen sähkönjohtokyky aiheutuu pääasiassa puun sisältämien suolojen synnyttämästä ionijohtavuudesta /12/.

Lämpötilan ja uuteaineiden vaikutus mittaukseen on huomattava, joten tarkoissa mittauksissa joudutaan käyttämään jokaiselle puulajille ja lämpötilalle spesifistä kalibrointia. Monissa mittareissa on automaattinen lämpötilan mittaus ja

kompensointi sekä tyypillisesti valmiit kalibroinnit eri puulajeille. Jäisen polttoaineen kosteutta ei voida mitata tarkasti /12/.

Puun syiden kyllästymispisteen yläpuolella puun vastus on lähes vakio, jolloin vastusmenetelmällä mittaustulos ei enää muutu. Kosteuden epätasainen jakautuminen vaikeuttaa mittausta, koska virta kulkee sieltä, missä elektrodien läheisyydessä on paras johtavuus (suuri kosteus). Toisaalta, jos toinen elektrodi on kuivassa ja toinen kosteassa alueessa kuivan alueen kosteus dominoi mittausta /12/.

VTT:n vuonna 2000 tekemässä tutkimuksessa testattiin 16 kannettavaa vastusmittaukseen perustuvaa mittaria. Testissä kosteusalueina käytettiin 8 – 10 m-%, 12 – 14 m-% ja 16 – 18 m-%. Laboratorio-olosuhteissa virhe oli ± 1.5 – ± 2.5 %. Teollisuusolosuhteissa virhe oli ± 2.0 – ± 5.0 %. Mahdollisimman tarkan mittaustuloksen saavuttamiseksi lämpötila tulisi olla välillä $+5$ – $+60$ °C ja kosteusmittauksen alaraja on 8 m-% ja yläraja on 24 m-%. Mitattavan polttoaineen tulisi liikkua myös mahdollisimman hitaasti /6/.

3.2 Kapasitanssimittaukseen perustuva kosteusmittaus

Aineen dielektrisyiden mittaukseen perustuva kosteusmittaus on täysin ainetta rikkomaton. Mittaus voidaan suorittaa pintakontaktista tai myös ohuen ilmakerroksen läpi. Mittauksessa puu on dielektrinen väliaine kondensaattorissa, jonka elektrodit muodostavat. Puun dielektriset ominaisuudet riippuvat voimakkaasti puun kosteudesta, sillä kuivalla puulla dielektrisyysvakio 20 °C lämpötilassa on 5 ja vastaavasti vapaalla vedellä noin 80. Kosteuden mittaus perustuu tyypillisesti joko dielektrisyysvakion tai tehohäviön mittaukseen. Kapasitiivisten mittareiden mittausalue on noin 1 – 60 m-%. Kosteuden ylittäessä puunsyiden kyllästymispisteen kapasitiivisen menetelmän tarkkuus huononee huomattavasti. Dielektrisyteen perustuvilla menetelmillä voidaan mitata kosteutta puun syiden kyllästymispisteen yläpuoleltakin (noin 30%) /12/.

Mitattaessa polttoaineeseen muodostetaan korkeataajuuksinen sähkökenttä n. 15 – 30 MHz. Mittaussyvyydeksi ilmoitetaan 10 – 15 cm /13/.

Puun dialektisiin ominaisuuksiin vaikuttavat myös puun tiheys, lämpötila, syysuunta ja mittauksessa käytettävä taajuus. Lämpötilan vaikutus on pieni verrattuna vastusmittaukseen (vain noin kymmenesosa). Kapasitiivisella mittauksella ei voida mitata jäätyneen puun kosteutta, koska jään dielektrisyysvakio on lähes sama kuin kuivalla puulla (voimakas taajuusriippuvuus, alhaisilla taajuuksilla merkittävä ero) ja lisäksi se vaihtelee lämpötilan funktiona. Puun ionipolarisaation vaikutus on huomattava alhaisilla taajuuksilla, mutta se alenee mittaustaajuuden kasvaessa. Kapasitiivisten pintamittareiden tarkkuutta heikentää se, että ne ovat erittäin herkkiä mitattavan kohteen pintakosteudelle. Puun dielektrisyysvakio ja häviötekijä ovat syysuuntaan mitattuina 20 – 50 % suurempia kuin kohtisuoraan syysuuntaan mitattuina. /12/.

VTT:n vuonna 2000 tekemässä tutkimuksessa testattiin 6 kannettavaa vastusmittaukseen perustuvaa mittaria. Testissä kosteusalueina käytettiin 8 – 10 m-%, 12 – 14 m-% ja 16 – 18 m-%. Laboratorio-olosuhteissa virhe oli $+2.5 - -4.0$ %. Teollisuus-olosuhteissa virhe oli $+3.0 - +5.0$ %. Puun tiheyden kasvaessa dielektrisyysvakio ja häviötekijä kasvavat. Mahdollisimman tarkan mittaustuloksen saavuttamiseksi mittaus on kompensoitava kunkin puulajin keskimääräisen tiheyden mukaan, mutta puulajin sisäiset tiheyden vaihtelut aiheuttavat merkittävää virhettä kosteusmittaukseen, mikäli tarkkaa tiheyskompensaatiota ei ole tehty. Mahdollisimman tarkan mittaustuloksen saavuttamiseksi lämpötilan tulisi olla välillä $+5 - 60$ °C ja kosteusmittauksen alarajan 5 m-% ja ylärajan 30 m-% /6/.

3.3 Impedanssimittaukseen perustuva kosteusmittaus

Impedanssispektropiassa mitataan tutkittavan kohteen sähköinen taajuusspektri, jolla voidaan selvittää mittaushohteen rakennetta sekä elektrodien ja mittaushohteen vuorovaikutusta /15/. Mittaushohtesta voidaan muodostaa fysikaalisella ja matemaattisella mallintamisella mittaushohtetta kuvaava sähköinen malli, jonka parametrit kuvaavat näytteen rakennetta. Impedanssispektropiaa on sovellettu erilaisten materiaalien rakennetutkimuksiin sekä kemiallisten reaktioiden tutkimiseen /12/.

Sähköisiltä ominaisuuksiltaan erilaiset materiaalit polarisoituvat eri tavalla sähkökentässä. Polarisoitumiseen vaikuttaa materiaalin sähköinen epähomogenisuus, jonka toteaminen on mahdollista vain spektrimittauksella. Mittauksessa voidaan arvioida mitattavan materiaalin dispersiivisiä ominaisuuksia eli materiaalin sähköisten ominaisuuksien muuttumista epälineaarisesti taajuuden funktiona. Tyypillisesti biologiset materiaalit ovat sähköisiltä ominaisuuksiltaan hyvin dispersiivisiä, mihin vaikuttaa erityisesti näytteen kosteusjakauma. Kuiva-aineeseen sitoutunut ja jätynyt vesi vaikuttavat sähköiseen spektriin eri tavoin kuin soluonteloissa sijaitseva kosteus ja näin ollen spektrianalyysiin perustuen on mahdollista analysoida eri tavoin puuhun sitoutunutta vettä /12/.

Kosteusgradientin mittauksessa kohteeseen muodostetaan muuttuva sähkökenttä elektrodeilla ja materiaalin syvyysuuntainen kosteusjakauma määritetään tutkittavan materiaalin dispersiivisten ominaisuuksien vaikutuksesta sähköiseen spektriin. Kehitettyssä menetelmässä voidaan arvioida sekä pinnan että syvemmän kerroksen kosteutta, jolloin materiaalin pinnan alainen kosteusjakauma voidaan määrittää ja siten arvioida syvemmän kerroksen kosteus. Tarkka arvio pinnan kosteusjakaumalle voidaan saavuttaa käyttämällä spektristä määritettyjä parametreja eri taajuusalueilta valitsemalla parametrit niiden efektiivisen mittaussyvyyden perusteella. Näin voidaan muodostaa jatkuva funktio kosteuden mittaamiseksi pinnan eri syvyyksillä, jolloin saadaan arvio tutkittavan materiaalin syvyysuuntaisesta kosteusgradientista /12/.

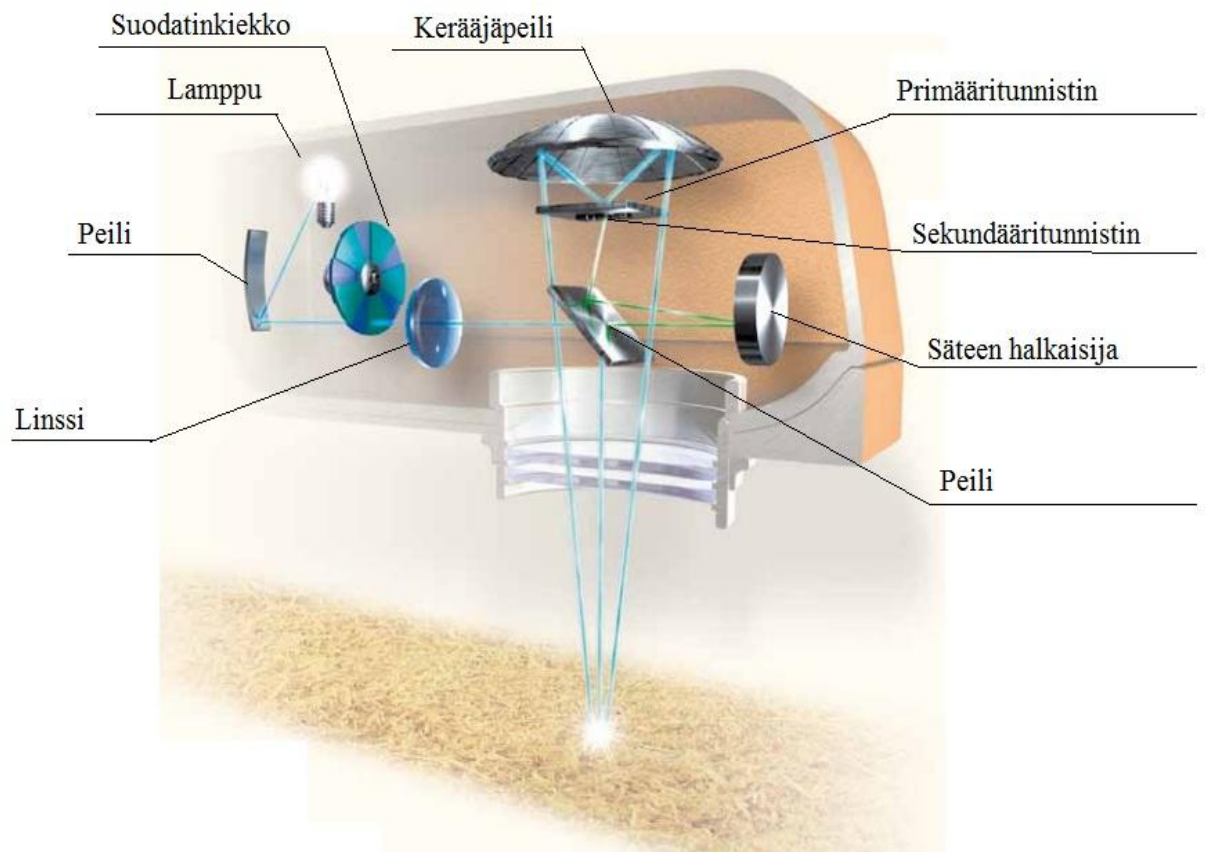
Mitattavaan polttoaineeseen muodostetaan sähkökenttä matalilla taajuuksilla $n. < 1$ MHz. Mittaus tehdään kuitenkin useilla eri taajuuksilla, josta edelleen spektrin mallinnuksen avulla saadaan tietoa kosteudesta eri syvyyksiltä. Tällöin voidaan minimoida pintakosteuden merkitys mittaukseen /13/.

3.4 Infrapunamittaukseen perustuva kosteusmittaus

Optisista mittauksista infrapunasäteilyn absorptiota on käytetty jo pitkään kosteuden mittaamiseen erilaisissa sovelluksissa. Useimmat sovellukset käyttävät lähi-infrapun absorptioaallonpituutta kosteuden määrittämiseen /12/. Infrapunamittaukset jaetaan kolmeen kategoriaan käytettävän aallonpituuden mukaan. Näitä ovat lähi-infrapuna (NIR, Near Infrared, 850 – 2500 nm), keski-infrapuna (MIR, Middle infrared, 2500 – 25000 nm) sekä kauko-infrapuna (FIR, Far Infrared, 25000 – 100000 nm) /10/.

Infrapunamittauksella saadaan myös jossain määrin mitatuksi jäätynyttä vettä. Optisena mittauksena on kyseessä pinnanmittaus, joten tunkeuma on vain muutamia millimetrejä /13/.

Kuva 3 esittää periaatekuvan infrapunamittarista, joka perustuu pyörivään suodatinkiekkoon. Tyypillisellä mittarilla voidaan mitata 2 – 8 aallonpituutta, joista yksinkertaisimmillaan yhdellä mitataan veden absorptiota ja kahta molemmin puolin valittua kaistaa käytetään sironnan aiheuttaman pohjaviivan vaihtelun kompensointiin. Lisääaallonpituuksia käytetään kompensoimaan muita häiritseviä tekijöitä. Tekniikkaa rajoittaa aallonpituuksien ajallisesti peräkkäin mittaaminen, tällöin näytteen liikkuessa nopeasti aallonpituudet osuvat eri kohtiin ja tulosten hajonta lisääntyy. Muutamien erilliseen aallonpituuteen perustuvat infrapunamittaukset ovat toimineet hyvin homogeenisten materiaalien, kuten esim. paperin ja vehnä jauhojen on-line mittauksissa. Laajaa laatuvariaatiota sisältävien luonnonmateriaalien, kuten turpeen ja hakkeen kosteusmittauksiin on kehitetty paikallisia kalibrointeja, joita on kuitenkin jouduttu uudelleen kalibroimaan materiaalien laadun muuttuessa merkittävästi /12/.



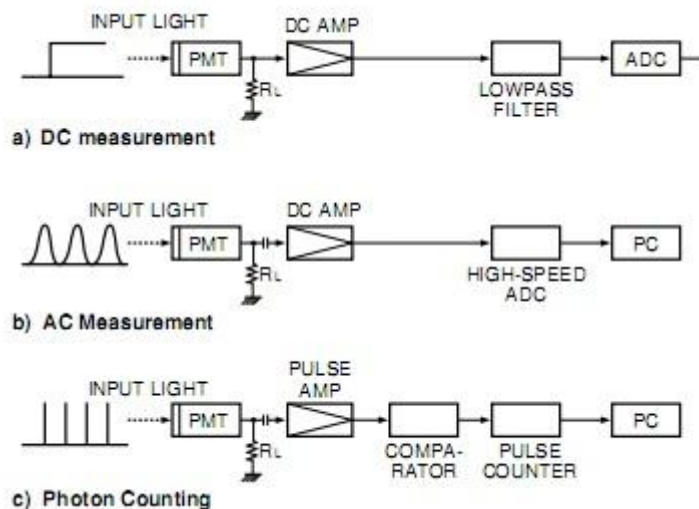
Kuva 4. Infrapunakosteusmittari, jossa on pyörivä suodatinkiekkotekniikka. /8/

Nopeasti liikkuvan materiaalin mittaukseen soveltuu paremmin integroituun 4-kanavadetektoriin perustuva menetelmä, jolla saadaan neljän aallonpituuden mittausta samanaikaisesti. Infrapunamittauksiin on kehitetty myös LED-valolähteisiin perustuva menetelmä, joilla voidaan mitata 4 – 32 aallonpituutta. LED-tekniikkaan perustuvan mittauksen etuna on pieni virrankulutus sekä lampun vaihdosta aiheutuvien kalibrointimuutosten välttäminen /12/.

3.5 Rividetektoriin perustuva mittaus

Rividetektoriin perustuvan spektrometrin (Kuva 4) etuna on koko spektrin mittaus täysin rinnakkaisesti 128-, 256- tai 512 aallonpituudella. Si-detektoriin perustuvat moduulit käyttävät aallonpituutenaan 400 – 1100 nm. InGaAs-detektoriin

perustuvat moduulit käyttävät aallonpituutenaan 900 – 1700 nm. Saatavilla on myös Extended InGaAs-detektori, joka käyttää alueenaan 900 – 2600 nm /12/.



Kuva 5. Rividetektoriin perustuvan mittauksen toimintaperiaate. /9/

3.6 Mikroaaltomittaukseen perustuva mittaus

Mikroaaltomittaus perustuu aaltojen vaimenemiseen, resonanssitaajuuden, etenemisnopeuden, vaihesiirron tai niiden yhdistelmän mittaukseen. Resonanssitaajuuden ja etenemisnopeuden tapauksessa mitataan materiaalin suhteellista permittiivisyyttä eli dielektristä vakiota. Resonanssitaajutena käytetään n. 100 Mhz. Etenemisnopeutena käytetään 0,5 – 10 Ghz. Vaimennuksen mittauksessa aallonpituutena käytetään yleensä K-aluetta, joka on 18,0 – 26,5 Ghz. Kosteuden mittaamiseen käytetään yleensä 22,0 Ghz, joka vastaa vesimolekyylin resonanssiabsorption taajuuskaistaa /12/.

Mikroaaltotekniikan etuna on infrapuna-aluetta huomattavasti pienempi absorptiviteetti, jolloin mikroaaltotekniikalla voidaan mitata huomattavasti korkeampia vesipitoisuuksia, jopa 100 m-% asti. Kosteusmittauksessa käytetään kahta ominaisuutta hyödyksi, joko vaimenemaa tai mikroaaltojen nopeutta /12/.

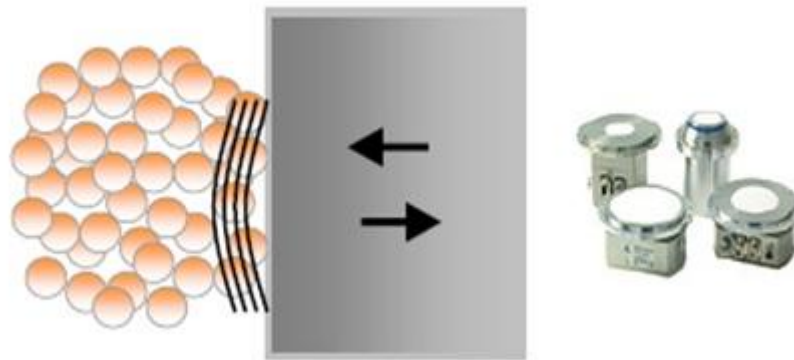
Tunkeuma mikroaaltomittauksella on noin 5 – 10 cm, riippuen taajuudesta /13/.

Puun permittiivisyys on noin 2,5 – 6,8 ja vapaan veden permittiivisyys on noin 80 (lämpötilassa +20 °C). Puuperäisellä materiaalilla on taipumus imeä tehokkaasti vettä. Permittiivisyys ero puun ja veden välillä on noin 30-kertainen. Tätä ominaisuutta voidaan käyttää kosteuden mittaamisessa. Mitä korkeampi vesipitoisuus, sitä suurempi on mikroaaltojen etenemisnopeus /12/.

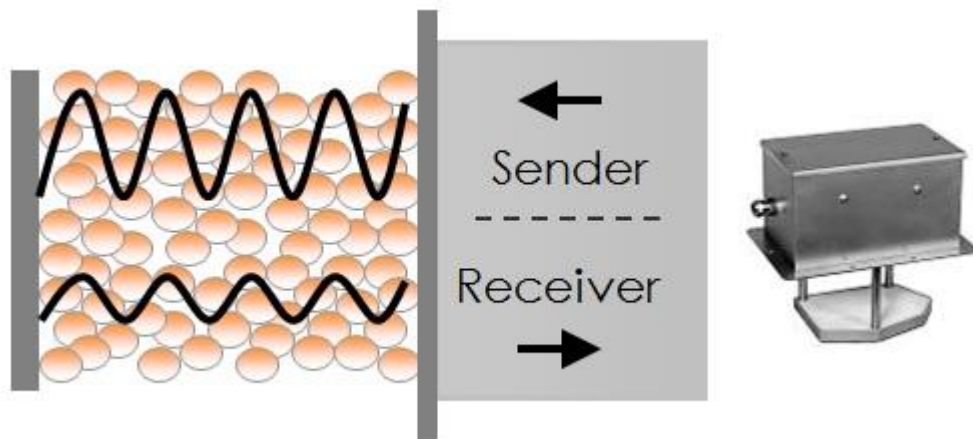
Mittausperiaatteessa on myös samoja piirteitä kuin ydinmagneettisissa menetelmissä, mutta mittaustapoja on useampia. Sen sijaan suurin ero on siinä, että mikroaallot ovat suhteellisen turvallisia /12/.

Tiheysmuutokset ja huokoisuus pyritään yleisesti kompensoimaan, esimerkiksi ultraäänimittauksen ja materiaalivirran mittaustiedoilla (esim. liukuhinnan nopeus). Muita mittauksiin vaikuttavia tekijöitä ovat mm. lämpötila ja materiaalin permittiivisyys. Veden ominaisuudet voivat muuttua lämpötilan muuttuessa. Veden sitominen puuhun voi myös muuttua. Voimakkaimmin tämä tulee esiin kun vesi on jäässä, sillä puun ja jään permittiivisyys on lähellä toisiaan /12/.

Tarjolla on kahdentyyppisiä mikroaaltotekniikkaan perustuvia kosteuden mittaustekniikkoja. Ensimmäisessä mittaustavassa anturi lähettää aallon mitattavaan materiaalin ja hyväksikäyttää materiaalin omaa heijastusta mittaustuloksen analysoinnissa (Kuva 5). Toisessa mittaustavassa käytetään heijastinlevyä, joka heijastaa aallon takaisin levystä. Tällä tavalla saadaan palaavasta aallosta tehokkaampi, koska ympäristöön heijastuminen vähenee (Kuva 6).



Kuva 6. Mikroaaltomittaus pelkällä anturilla, heijastuma materiaalista. /11/



Kuva 7. Mikroaaltomittaus heijastinlevyn avulla. /11/

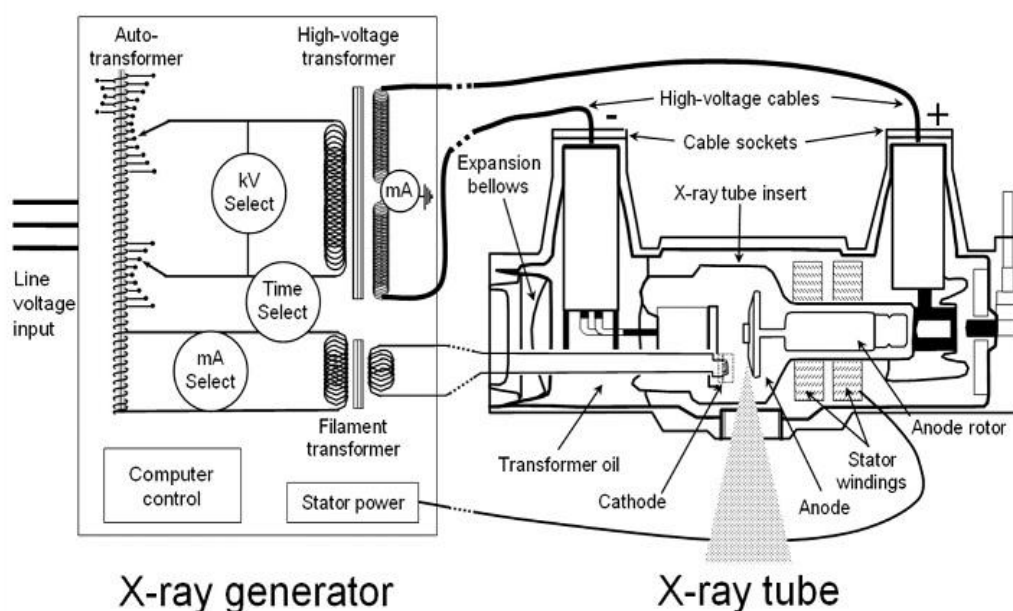
3.7 Röntgen- ja gammasäteilymittaukseen perustuva mittaus

Röntgensäteet jaetaan kahteen kategoriaan käytettävän aallonpituuden mukaan. Näitä ovat kevyet röntgenaallot (soft X-ray, 0.12 – 12 keV, 10 – 0.10 nm aallonpituus) ja raskaat röntgenaallot (harf X-ray, 12 – 120 keV, 0.10 – 0.01 nm aallonpituus) /23/. Gammasäteilyyn perustuvassa mittauksessa käytettävät ominaisuudet ovat 1 keV – 10 MeV ja 10 pm aallonpituus /22/.

Röntgensäteily syntyy ytimen ulkopuolisten vuorovaikutusten seurauksena. Röntgensäteilyä tuotetaan valtaosin ns. röntgenputkella ja joissain tapauksissa radioisotoopeilla. Röntgenputkessa syntyy säteilyä, kun elektronit törmäävät putken anodiin suurella nopeudella. Röntgenputki on tyhjiöputki, jonka sisällä on

negatiivisesti varautunut katodi ja positiivisesti varautunut anodi. Katodin ja anodin välille synnytetään suurjännite, jolloin katodilta irtoavat elektronit kiihdyttävät sähkökentässä nopeuttaan ja törmäävät anodiin. Suurin osa katodilta irtoavien elektronien liike-energiasta muuttuu lämpöenergiaksi ja vain pieni osa säteilyn tuottoon /12/.

Röntgenputki tarvitsee toimiakseen röntgengeneraattorin (Kuva 7), jonka avulla muodostetaan putken tarvitsema korkeajännite ja virta. Joissain generaattoreissa on mahdollista säätää myös valotusaikaa, jännitteen ja virran lisäksi. Valotusajalla tarkoitetaan virran synnyttämistä putkeen vain hetkeksi kerrallaan. Virran katketessa putki lakkaa välittömästi tuottamasta röntgensäteilyä /12/.



Kuva 8. Röntgengeneraattorin ja -putken periaatekuva /2/.

Gammasäteily puolestaan syntyy atomin ytimeä vapautuvien energioiden seurauksena ytimen hajotessa vakaampaan muotoon. Tällöin syntyy yleensä myös hiukkassäteilyä. Gammasäteilyn hyvän läpäisykyvyn vuoksi gammalähteet ovat yleensä aina ns. umpilähteitä. Gammalähteen valinnassa käytetään kriteereinä säteilyn energiaa ja lähteen puoliintumisaikaa. Lähteen elinikää määriteltäessä käytetään nyrkkisääntöä, jonka mukaan viiden puoliintumisajan jälkeen lähde on käyttökelvoton /12/.

Koboltilähteiden tyypillinen aktiivisuus on välillä 37 MBq – 3,7 GBq. Niitä käytetään yleisesti erilaisissa mittareissa, esimerkiksi pinnankorkeusmittareissa, pintakytkimissä ja kuljetinvaaioissa. ^{60}Co -isotooppia käytettäessä säteilyn suuren läpäisykyvyn takia säteilylähteet vaativat suuremmilla aktiivisuuksilla raskaan säteilysuojuksen. ^{60}Co -isotoopin puoliintumisaika on suhteellisen lyhyt, vain vähän yli 5 vuotta, joten se on uusittava suhteellisen lyhyen käytön jälkeen /20/.

Cesiumlähteiden tyypillinen aktiivisuus on välillä 37 MBq – 37 GBq mutta on myös joitain lähteitä joiden aktiivisuus on $1,85 \times 10^{12}$ Bq. Niitä käytetään yleisesti erilaisissa mittareissa, esimerkiksi pintakytkimissä, pinnankorkeus- ja tiheysmittareissa ja kuljetinvaaioissa (Taulukko 1). Säteilyn vähäisemmän läpäisykyvyn takia säteilysuojaus saa olla kevyempi kuin koboltilähteillä. ^{137}Cs -isotoopin puoliintumisaika on noin 30 vuotta, joten säteilylähteitä ei tarvitse juuri vaihtaa laitteen käyttöänsä aikana /20/.

Taulukko 1. Yleisimmin käytettyjä gammalähteitä ja sovelluskohteita. /20/

Nuklidi	Puoliintumisaika	Säteilylaji	Energia MeV	Tyypillinen käyttötarkoitus
^{60}Co	5,27 a	γ	1,17; 1,33	Pinnankorkeusmittari, pintakytkin, kuljetinvaaio
^{137}Cs	30,2 a	γ	0,662	—
^{241}Am	432,7 a	α, γ	5,5 α 0,060 γ	ioni-ilmaisim, neutronilähde, tiheysmittari, analyysointilaitte
^{109}Cd	1,27 a	γ	0,022; 0,087	analyysointilaitte
^{55}Fe	2,68 a	γ	0,0059	tuhkamittari, analyysointilaitte
^{192}Ir	74,0 d	γ	0,32; 0,47	gammadiagnostiikkalaitte
^{85}Kr	10,7 a	β	0,687	pinta-alamassamittari
^{147}Pm	2,62 a	β	0,225	pinta-alamassamittari
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	29,1 a	β	0,546; 2,284	pinta-alamassamittari

3.8 Neutroniaktivaattori

Neutroneilla tehtävä kosteuden mittaaminen perustuu useampaan eri tapaan. Tapoja on kohteen ytimistä sironneiden termisten tai nopeiden neutronien havaitseminen, emittoituneiden gammojen havaitseminen tai molempien havaitseminen. Neutroniaktiivointianalyysissä (NAA) käytetään mitattavasta kohteesta

emittoituneita gammoja analysointiin. Gamma-analyysistä on kaksi eri versiota, joista ensimmäinen on reaaliaikainen analyysi (PGNAA) ja toinen on viivästyneen gammaemission analyysi (DGNAA). Radioisotooppeihin perustuvat neutronilähteet tuottavat neutroneita (α , n)-ydinreaktiolla tai raskaan ytimen spontaanilla fissiolla. Nämä lähteet valmistetaan sekoittamalla pitkäikäistä alfasäteilijää ja berylliumpulveria mahdollisimman homogeenisesti ja puristamalla seos tabletkiksi tai sintraamalla yhdessä keraamisen massan kanssa. Seos suljetaan kaksinkertaiseen teräskapseliin. Neutronituotto perustuu ydinreaktioihin. Neutronit jaetaan energiansa mukaan eri luokkiin. Luokkia on useita, mutta yleisesti käytetään kolmea eri luokkaa, joita ovat termiset, hitaat ja nopeat neutronit. Termisten neutronien luokan energia on noin 0,025 eV. Hitaiden ja nopeiden neutronien luokan raja on 0,5 keV /20/.

Yleisin käytössä oleva neutronilähde on amerikium-beryllium. ^{241}Am -nuklidin puoliintumisaika on 432 vuotta eli lähteen neutronituotto ei juurikaan muutu laitteen käyttöiän aikana /20/. Taulukossa 2 on esitetty yleisimmin käytettyjä neutronilähteitä sekä niiden ominaisuuksia.

Taulukko 2. Yleisimmin käytettyjä neutronilähteitä /20/.

Nuklidi	Puoliintumis-aika	Neutronituotto n/s MBq:iä kohti	γ -annosnopeus $\mu\text{Sv/h}$ MBq:iä kohti 1 m etäisyydellä	Lähdetyyppi
^{227}Ac	21,8 a	405	0,032	Ac-Be
^{241}Am	432,7 a	60	0,0007 ¹	Am-Be
^{244}Cm	18,1 a	68	0,0007	Cm-Be
^{238}Pu	87,8 a	60	0,0003	Pu-Be
^{226}Ra	1 600 a	351	0,21	Ra-Be
^{228}Th	1,91 a	540	0,16	Th-Be
^{252}Cf	2,64 a	$1,15 \times 10^5$	0,08 ²	spontaani fissio

3.9 Uunikuivausmenetelmä

Uunikuivausmenetelmä perustuu kosteuden määrittäksessä ISO 589 – menetelmään. Tätä menetelmää käytetään kotimaisten polttoaineiden analyysihin /1/.

Näytteet kuivataan vakiopainoon ilmastoidussa lämpökaapissa 105 ± 2 °C lämpötilassa. Näytteen olleessa enintään 30 mm paksuisena kerroksena 16 tunnin kuivausaika useimmiten on riittävä. Näytteitä ei saa kuivata kuitenkaan yli 24 tuntia. Kosteita näytteitä laitettaessa lämpökaappiin on mahdollisesti ennestään kuivatut näytteet poistettava /1/.

Kosteusnäytteiden koko määräytyy käytössä olevan punnitustarkkuuden ja polttoaineen näytekoon mukaan. Punnitustarkkuuden ollessa 0,01 g, punnitaan vähintään kaksi 30–100 g painoista näytettä, jos taas punnitustarkkuus on 0,1 g, punnitaan vähintään kaksi 200–400 g painoista näytettä /1/.

Kuivauksen valmistuttua näytteet asetetaan jäähtymään eksikaattoriin (Kuva 8), jossa näytteet jäähtyvät huoneenlämpöön. Näytteen jäähtyttyä se punnitaan. Mikäli eksikaattoria ei ole käytössä, voidaan näytteet punnita kuumina. Mikäli näytteet punnitaan kuumina, ne on punnittava välittömästi uunista poistamisen jälkeen. Ilmoitustarkkuus on 0,1 - % /1/.



Kuva 9. Eksikaattorin periaatekuva. /14/

Kosteusmääritysvertailuja suoritettaessa on käytettävä menetelmä sovittava etukäteen (jäähdytys eksikaattorissa / kuumana punnitseminen) /1/.

Kosteusmäärityksiä tehtäessä on varmistettava, ettei käytettävissä astioissa ole jäänteitä kosteudesta ja että ne kestävät kuivauslämpötilan /1/.

Näytteiden kosteus lasketaan massamuutoksesta, joka tapahtuu kuivauksen aikana yhtälön 1 mukaisesti /1/.

$$M_{ar} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (1)$$

missä M_{ar} on märkäpainoa kohti laskettu kosteus saapumistilassa (%)

m_1 on märän näytteen massa (g)

m_2 on kuivatun näytteen massa (g)

4 KOSTEUSMITTAUKSELLE ASETETTAVIA VAATIMUKSIA

Mittauksen tulisi sietää mahdollisimman hyvin epäkuranttia materiaalia. Varsinkin talviolosuhteissa tämä tulee ottaa huomioon, koska polttoaine jäätyy ja polttoaineen seassa saattaa olla myös lunta ja jäätä. Mittausvirheen tulisi pysyä 5 m-% -yksikön sisällä mahdollisimman optimaalisen palotapahtuman takaamiseksi. Tämä on toteutettavissa esimerkiksi laskemalla useammasta mittaustuloksesta keskiarvo.

Ympäristö asettaa myös omat vaatimuksensa laitteistolle, koska laitoksessa on suuri lämpötila- ja kosteusvaihtelu. Laitoksessa laitteisto myös likaantuu ajan myötä. Laitteet tulisi olla tässä suhteessa puhdistusvapaita tai helposti puhdistettavissa. Mittaus voi olla kosketuksessa mitattavaan polttoaineeseen.

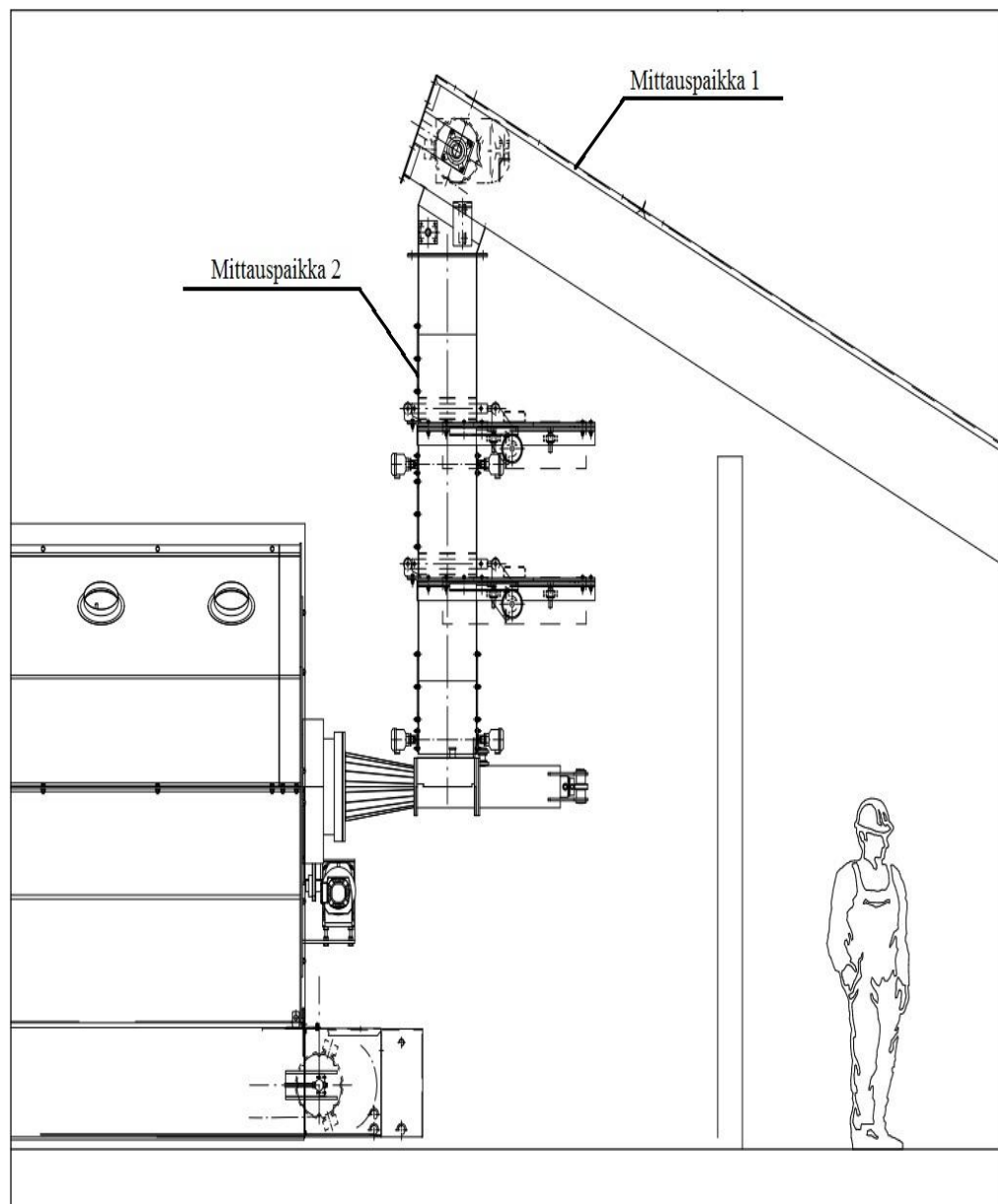
Laitteiston käyttöönotto ja käyttö tulisi olla selkeää, koska laitteet on kalibroitava käyttöön. Koska jotkin laitteet on kalibroitava erikseen jokaiselle polttoaineelle, tämä tehtävä tulisi olla mahdollisimman helposti toteutettavissa. Esimerkiksi suoraan valvomosta voitaisiin antaa tieto, millaista polttoainetta sillä hetkellä syötetään voimalaitokseen.

Laite on oltava liitettävissä käytettävään ohjausjärjestelmään, esimerkiksi kenttäväylän kautta tai milliampeeriviestinä.

Kosteuden mittaamiseen valittava laitteisto saisi olla hintatasoltaan noin 20000 € (alv. 0 %). Tämän hinnan lisäksi tulee vielä huomioida suunnittelu- ja asennuskustannukset.

5 MITTAUKSEN SIJOITUSPAIKKA

Mahdollisimman reaaliaikaisen mittauks tuloksen saavuttamiseksi mittaus tulisi sijoittaa biopolttolaitoksessa mahdollisimman lähelle palotapahtumaa. Mittaustavasta riippuen laite on mahdollista sijoittaa suoraan joko syöttökuljettimen oheen (mittauspaikka 1) tai välisäiliöön (mittauspaikka 2) ilman erillisen sivuvirran järjestämistä. Kuvassa 10 on esitetty polttoaineen syöttö biovoimalaitokseen sekä mittauspaikat.



Kuva 10. Polttoaineen syöttö biovoimalaitokseen

6 SUOSITELTAVA MITTAUSMENETELMÄ

6.1 Mikroaaltomittaukseen perustuva kosteusmittaus

Mikroaaltomittaukseen perustuvalla mittauksella pystytään mittamaan hyvin erilaisia polttoaineita.

Mikroaaltomittarilla voidaan mitata korkeita vesipitoisuuksia, jopa 100 - % saakka. Laitteiston toimittaja ilmoittaa mittausvirheeksi $\pm 0,5$ - %.

Suosittelavassa laitteessa on sisäänrakennettu lämpötilan kompensatio, joten lämpötilavaihtelut eivät vaikuta juurikaan mittaustulokseen. Myöskään ympäristön pöly- ja kosteusvaikutukset eivät vaikuta mittaustulokseen.

Laitteen anturin ja heijastinlevyn välinen etäisyys on 8cm, joten laitteen tunkeuma polttoaineeseen on 8cm.

Mikroaaltomittari kalibroidaan käyttöönotettaessa kerran ja myöhempään kalibrointiin ei ole tarvetta vaikka käytettävä polttoaine vaihtuu.

Laite on liitettävissä logiikkajärjestelmään milliampeeriviestillä sekä ethernet-liitännällä.

Kuvassa 10 ilmoitettu mittauspaiikka 2 olisi tälle mittaustavalle suositeltava asennuspaiikka. Laitteen heijastinlevy tulisi suojata siten, että se ei tukkeudu eikä vahingoitu polttoaineen saapuessa välisäiliöön.

Mittauslaite on tarjolla Hantekno Oy:n valikoimassa. Laitteen hinta on noin 20000 € (alv. 0 %).



Kuva 11. Mikroaaltomittari heijastinlevyllä varustettuna. /11/



Kuva 12. Esimerkki mikroaaltomittauksen sijoituksesta siiloon. /11/

6.2 Infrapunamittaukseen perustuva mittaus

Lähi-infrapuna alueelta koko spektrin mittaamiseen perustuva laite on varteenotettava vaihtoehto.

Infrapunamittauksella voidaan mitata kosteutta 70 m-% asti.

Suosittelavassa laitteessa on sisäänrakennettu lämpötilan kompensatio, joten lämpötilavaihtelut eivät vaikuta juurikaan mittaustulokseen. Infrapunamittarin linssin likaantuminen vaatii aika ajoin huoltotoimenpiteitä. Kuvassa 13 olevaan laitteeseen on mahdollista liittää paineilma puhdistamaan linssin.

Laitteen tunkeuma on ainoastaan < 1 mm polttoaineeseen, joten laite tulisi sijoittaa siten, että polttoaineen pinnankosteus ja polttoaineen keskikosteus olisi mahdollisimman lähellä toisiaan. Mittausvirheen ilmaantuessa ennen mittausta on mahdollista sekoittaa polttoainetta, esimerkiksi polttoaineen sisään menevällä esteellä.

Laite on kalibroitava polttoaineen vaihtuessa. Laitteelle annetaan tieto polttoainelaadusta esimerkiksi valvomosta polttoaineen vaihtuessa.

Laite on liitettävissä logiikkajärjestelmään milliampeeriviestillä, ethernet-liitännällä ja profibus DP-liitännällä.

Kuvassa 10 ilmoitettu mittausta paikka 1 olisi tälle mittaukselle suositeltava asennusta paikka.

Mittauslaite on tarjolla Visilab Oy:n valikoimassa. Laitteen hinta on noin 10000€ (ALV. 0 %).



Kuva 13. Infrapunakosteusmittari. /19/

6.3 Käyttöönottovaiheessa tehtävä kalibrointi

Käyttöönotettaessa biopolttolaitosta, kalibrointia helpottamaan ja nopeuttamaan on tarjolla käsikäyttöinen mittari hakkeelle ja metsähakkuutähdehakkeelle (Kuva 14). Tarjolla on myös käsikäyttöinen mittari rankapuun tai harvennusenergiapuun moottorisahanpurulle, puupelletille ja sahanpurulle. Tarjolle on tulossa myös käsikäyttöiset mittarit latvusmassan purulle, turpeelle, oljelle sekä ruokohelpille. Näiden mittareiden avulla saadaan mitattua kosteutta suoraan varastointikasasta tai kuormasta /21/.



Kuva 14. Käsikäyttöinen kosteusmittari hakkeelle ja hakkuutähdehakkeelle /21/.

Kosteuden mittausalueeksi ilmoitetaan hakkeelle 10 – 54 m-%, hakkuutähdehakkeelle 14 – 70 m-%, puupelletille 4 – 23 m-% sekä sahanpurulle 6 – 30 m-%. Rankapuun tai harvennusenergiapuun moottorisahanpurun mittausalue on koivulle, kuuselle ja männylle 15 – 65 m-% /21/.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tutkittiin bioenergian tuotantoa ja käyttöä, kiinteitä biopolttoaineita ja niiden ominaisuuksia sekä erilaisia kosteuden mittaamenetelmiä. Teorian ja annettujen vaatimusten perusteella valittiin kaksi suositeltavaa mittaamenetelmää sekä käyttöönottoa ja kalibrointia varten suositeltiin käsikäyttöisiä mittareita eri polttoaineille. Laitteiden sijoittamisesta prosessiin tehtiin ehdotus esimerkkikuvan (kuva 10) muodossa.

Biopolttoaineesta saatavan kosteusmittauksen perusteella voidaan polttoprosessi saattaa optimaaliseksi. Polttoprosessin ollessa optimaalinen biopolttolaitoksen hyötysuhde paranee sekä päästöt pienenevät. Tulevaisuudessa edellä mainittuihin seikkoihin tullaan kiinnittämään entistä enemmän huomiota.

Suosittelava kosteusmittaus tullaan toteuttamaan keväällä 2011.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Alakangas, E., (2000). Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita. Otamedia Oy, Espoo.
- /2/ Basic principles of x-ray production, [viitattu 30.11.2010] Saatavilla Internetissä: <URL: <http://tech.snmjournals.org/cgi/content/full/32/3/139#F3>>
- /3/ Bioenergia Suomessa, [viitattu 5.10.2010] Saatavilla Internetissä: <URL: <http://www.finbioenergy.fi/default.asp?init=true&InitID=456;0>>
- /4/ Bioenergia verkkopalvelu, [viitattu 8.10.2010] Saatavilla Internetissä: <URL: http://www.bioenergia.fi/-default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta>
- /5/ Ekohell – esite. (2009) Nordautomation Oy
- /6/ Forsén, H. & Tarvainen, V. (2000). Accuracy and fuctionality of hand held wood moisture content meters. VTT julkaisu 420, Otamedia Oy, Espoo.
- /7/ Gamma spectroscopy. [viitattu 30.11.2010] Saatavilla Internetissä: <URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Gamma_spectroscopy>
- /8/ Grecon – Online Infrared Moisture Meter IR 5000 Brochure [viitattu 8.10.2010] Saatavilla Internetissä: <URL: http://www.grecon.us/html/measure_brochures.htm#ir5000>
- /9/ Hamamatsu – PMT Handbook [viitattu 8.10.2010] Saatavilla Internetissä: <URL: <http://sales.hamamatsu.com/en/support/application-notes.php>>
- /10/ Infrared spectroscopy. [viitattu 30.11.2010] Saatavilla Internetissä: <URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_spectroscopy>
- /11/ Intelscan – Esite (2009) Hantekno Oy.
- /12/ Järvinen, T., Malinen, J., Tiitta, M., Teppola, P., (2007). State of art – selvitys puun kosteusmittauksesta. VTT julkinen tutkimusraportti.
- /13/ Korpilahti, A., Melkas, T. (2010). Kosteuden online-mittaus metsätähdehakkeesta. Metsäteho Oy. Raportti 213.
- /14/ Kvantatiivisia mittausmenetelmiä [viitattu 8.10.2010] Saatavilla Internetissä: <URL: <http://www02.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/kemia/labra/kvantti.html>>

- /15/ Lappalainen, T. (1999) Kuitupuun tehdasmittauksen kehittäminen. Puun kosteuden mittaussmenetelmät. Tutkimusselostus ENE31/T0027/99.
- /16/ Ranta, J. & Korhonen, M. (1983). Polttoturpeen ja kivihiilen ominaisuuksiin liittyvä terminologia. VTT, Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto, Sarja D:42.
- /17/ Sankari, H. 1994. Bioenergian tuotantoon soveltuvat peltokasvit. Teoksessa: Bioenergian tuotanto elintarviketuotannosta vapautuvalla peltoalalla. Työtehoseuran julkaisuja 333.
- /18/ Vapo kuvapankki. [viitattu 8.10.2010] Saatavilla Internetissä: URL:<http://www.vapo.fi/fin/palvelut/viestintapalvelut/kuvapankki/?id=108&selClass=29>
- /19/ Visilab – IRMA-7 [viitattu 5.10.2010] Saatavilla Internetissä: <URL: <http://visilab.fi/vispro.htm>>
- /20/ Väisälä, S., Korpela, H., Kaituri, M., Säteilyn käyttö teollisuudessa ja tutkimuksessa. Säteilyturvakeskuksen julkaisu.
- /21/ Wile käsikäyttöiset kosteusmittarit [viitattu 30.10.2010] Saatavilla Internetissä: <URL: <http://www.farmcomp.fi/Kotiwile>>
- /22/ Wilén, C., Moilanen, A., Rautalin, A., Torrent, J., Conde, E., Lödel, R., Carson, D., Timmers, P. & Brehm, K. 1999. Safe handling of renewable fuels and fuel mixtures. Espoo, VTT julkaisu 394.
- /23/ X-ray. [viitattu 30.11.2010] Saatavilla Internetissä: <URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/X-ray>>

MIKROAALTOMITTARIN TEKNISET TIEDOT

Tekniset tiedot

Mikroaaltomittaus

Edustaja	Hantekno Oy
Laitetyyppi	iScan Silo

Kosteusmittausalue	0 - 90 m-%
Mittausalue	50 - 80 mm x 50 - 80 mm
Mittausvirhe	0,50 %
Mittauksen aikaväli	1-30 s
Kalibrointi	20 eri kalibraatiota
Liitynnät:	Milliampeeriviesti Jänniteviesti Ethernet

Toimintajännite	110 - 240 VAC
-----------------	---------------

Tehon kulutus:	Anturiyksikkö < 7 W Näyttöyksikkö < 12 W
----------------	---

Mikroaaltojen taajuus	2 - 12 GHz
Mikroaaltojen kentän vahvuus	8 GHz: < 0,056 V/m
Mikroaaltojen teho	< 200 mW

Toimintalämpötila	0 - 55 °C
-------------------	-----------

Mittausyksikkö:

Paino	12 kg
Koko	200 x 270 x 180 mm K x L x S

Näyttöyksikkö

Koko	200 x 270 x 180 mm K x L X S
------	------------------------------

Kotelointi	Ruostumaton teräs
Suojaus:	
Anturiyksikkö	IP 65
Näyttöyksikkö	IP 64

INFRAPUNAMITTARIN TEKNISET TIEDOT

Tekniset tiedot

Infapunamittaus

Edustaja	Visilab Oy
Laitetyyppi	IRMA-7
Kosteusmittausalue	0 - 70 m-%
Mittausalue	30 x 40 mm
Mittarin etäisyys polttoaineesta	180 - 380 mm
Mittausvirhe	
Mittauksen aikaväli	400 1/s
Kalibrointi	100 eri kalibraatiota
Liitynnät:	Jänniteviesti Ethernet Profibus DP
Toimintajännite	230 VAC 50 Hz 115 VAC 60 Hz 12 VDC 6A
Paino	2,4 kg
Mittausyksikkö	85 x 125 x 180 mm K x L x S
Kotelointi	Alumiini
Suojaus	IP 67